Fenomenotecnia y conceptualización en la epistemología de Gaston Bachelard *

Roberto TORRETTI

Recibido: 17.6.2011
Versión final: 22.10.2011

BIBLID [0495-4548 (2012) 27: 73; pp. 97-114]

RESUMEN: Se explican dos ideas capitales de la epistemología de Bachelard y su relación mutua: la ciencia es fenomenotécnica, la ciencia inventa sus conceptos La producción de fenómenos con arreglo a esos conceptos certifica su idoneidad.

Palabras clave: Bachelard

ABSTRACT: We explain two main ideas of Bachelard's philosophy of science and their mutual relation. Science produces phenomena and creates its own concepts. Production of phenomena according to these concepts certifies their aptness.

Keywords: Bachelard

Como todo filósofo de fuste que haya vivido después de 1800, Bachelard le debe mucho a Kant. Pero el racionalismo *aplicado* que ve *efectuándose* en la actividad científica moderna difiere en más de un respecto del concebido por este.

Ante todo, Bachelard nunca pierde de vista que la actividad científica es, *coordinadamente*, *intelectual* y *manual* a la vez; no se limita a discurrir sobre datos registrados por la sensibilidad, sino que interviene en el acontecer natural mediante experimentos programados; en contraste con los catedráticos de metafísica, los científicos no son lenguas sin manos.[1] Esta visión toma cuerpo en su concepción de la ciencia moderna como *fenomenotecnia*, producción inteligente de los fenómenos que describe y explica.

Bachelard ciertamente entiende, como Kant, que los objetos del conocimiento científico – cosas, atributos, situaciones, procesos – no son *dados* sino *constituidos*, articulados en el flujo del devenir por nuestro propio pensamiento. En una palabra: la objetividad es un *logro*, no un *dato*. Pero Bachelard no supone que el pensamiento científico sea el ejercicio perpetuo de una facultad intelectual invariable estructurada de una vez por todas. Desdeñando la sabiduría vulgar, según la cual nada nuevo hay bajo el sol, Bachelard subraya, como pocos pensadores, la irremisible novedad del acontecer: "Sólo inventando dura el tiempo" (II, 82). Pero además sostiene, con una radicalidad inusual en su generación, el rol de la invención, de la creatividad renovadora en el pensamiento científico. Puntuada por instantes creadores, la evolución de la experiencia está marcada por rupturas, para enfrentar las cuales la razón debe retener toda su dis-

* Agradezco a Carla Cordua, Juan Manuel Garrido y Lucía Lewowicz la lectura de una versión preliminar de este artículo y las propuestas que me hicieron para mejorarla. También agradezco las valiosas sugerencias de dos revisores anónimos consultados por THEORIA.

[1] "El lenguaje ha ganado su riqueza y su precisión más por la mano que por el cerebro" (CA, 157).

ponibilidad (IA, 14). "No debemos estar amarrados por ninguna idea a priori si queremos encarar toda la experiencia" (IA, 82). "Los cuadros más simples del entendimiento no pueden subsistir en su inflexibilidad, si se quiere medir los nuevos destinos de la ciencia" (PN, 16). Bajo esta perspectiva, la racionalidad de la razón no se impone simplemente como un supuesto insoslayable de la posibilidad de la experiencia, sino que debe ponerse a prueba en la experiencia que ella misma va produciendo. La fenomenotecnia triunfante avala la idoneidad de las innovaciones conceptuales.

1. Ciencia como fenomenotecnia

Bachelard usó por primera vez esta voz – en francés, *phénoménotechnique* – en un breve artículo sobre "Noúmeno y microfísica" (NM, 1931/32) para referirse a un rasgo, según él característico, de una rama de la ciencia moderna: "La ciencia atómica contemporánea es más que una descripción de los fenómenos, es una producción de fenómenos" (Ét., 24); "…la física matemática corresponde entonces a una noumenología bien diferente de la fenomenografía donde pretende acampar (*se cantonner*) el empirismo científico. Esta noumenología ilumina una fenomenotecnia por la cual no simplemente se encuentran fenómenos nuevos, sino que se los inventa, se los construye en todas sus partes" (Ét., 18-19). En obras posteriores, atribuye, con todo derecho, carácter fenomenotécnico al resto de la física y a la química y, si viviera hoy, no titubearía en aplicarlo a la biología. El término procede de dos raíces griegas ampliamente utilizadas en las lenguas modernas. (i) *Tecnia* corresponde a τέχνη, que significa *habilidad manual*, *destreza práctica*, *arte sabia*; en castellano, como sustantivo independiente, usamos 'técnica'; pero el sufijo '-tecnia' está consagrado, por ejemplo, en 'pirotecnia' y 'electrotecnia', y por eso he resuelto adoptarlo aquí. (ii) *Fenómeno* españoliza el participio del verbo φαίνεσθαι, que significa *aparecer*, *manifestarse*, *hacerse presente*. En el término 'fenomenotecnia' hay que entender 'fenómeno' no en la acepción preferida de los filósofos – esto es, "lo que aparece a la conciencia" (Lalande 1951, 767, *s.v.* **Phénomène**, **A**.) – sino la corriente entre los científicos: un fenómeno es un suceso o proceso tipificable y reproducible (o al menos, repetible; vgr. un eclipse de sol), desglosable del devenir.[2] En el uso bachelardiano, 'fenomenotecnia' significa *arte sabio de producir nuevos fenómenos*, realizando material y manualmente lo concebido en abstracto – típicamente mediante modelos matemáticos – por la inteligencia. El término expresa admirablemente lo que – recurriendo a otras dos raíces griegas: χείρ = 'mano' y νοῦς = 'intelecto' – propongo llamar el carácter *quironoético* del conocimiento científico. Empleando provocativamente la voz griega 'noúmeno' (νοούμενον) en la sencilla acepción literal de *lo captado con la inteligencia* (νοῦς), Bachelard – como acertadamente señala Rheinberger (2005, 316) –

[2] Entre los diccionarios filosóficos que he consultado, solo el de Mosterín y Torretti (2010 [2002]) distingue *sub vocabulo* estas dos acepciones de 'fenómeno'. Curiosamente, el diccionario de Lalande, que no trae la segunda *s.v.* **Phénomène**, la registra *s.v.* **Observation** en una cita tomada de Peirce 1931-1960, vol. 5, §425.

equipara la actividad científica con "la preparación noumenal de fenómenos técnicamente constituidos" (RA, 103).[3]

A la sombra de Platón y Aristóteles y de la lectura griega de la Biblia como fuente de pronunciamientos dogmáticos, el pensamiento europeo moderno concibe la investigación científica y la reflexión filosófica como empresas dirigidas a establecer una logoteca, un "Gran Registro de la Verdad" (Lecourt 1974, 165), un archivo creciente de aseveraciones más o menos conexas que describen eventos observados o consignan generalizaciones que dichos eventos confirman o corroboran.[4] En particular, la tradición empirista se empeña desde Bacon en la faena recolectora que Bachelard, en un pasaje arriba citado, llama 'fenomenografía'. Desde sus albores, la investigación científica moderna se propone contribuir con sus resultados al bienestar humano, generar técnicas útiles sobre la base de los conocimientos adquiridos. Pero la filosofía – desatendiendo la índole cada vez más patente de la práctica científica – ha persistido en sostener el antiguo distingo aristotélico entre la ciencia propiamente tal, receptiva y logotecaria, y sus aplicaciones tangibles de orden técnico o *tecnológico*.[5]

En su tesis doctoral sobre el conocimiento aproximativo, Bachelard respeta todavía al parecer la oposición tradicional entre la ciencia y sus aplicaciones, pero escribe palabras que auguran su pronta superación. Al comienzo del capítulo IX, "Conocimiento y técnica", se refiere a la "paradoja inesperada que nos muestra el conocimiento móvil y huidizo (*fuyante*) y la acción que él ilumina sólida y asegurada". "Para el investigador, lo real está nimbado por lo posible y el estudio de lo posible es una tentación contra la cual el científico, por muy positivo que sea, se defiende mal. Nada más

[3] Bachelard marcó agudamente la distancia entre su uso positivo de 'noúmeno' y la acepción negativa popularizada por Kant: "Mientras que la cosa en sí es un noúmeno por exclusión de los valores fenomenales, nos parece que lo real científico está hecho de una contextura noumenal apropiada para indicar los ejes de la experimentación". Sea dicho de paso, aunque 'noúmeno' y 'cosa en sí' no son términos intercambiables en el discurso filosófico de Kant, hay numerosos textos suyos donde los trata prácticamente como sinónimos; cf. KrV, A 254/B 310, A 256/B 312, A 259/B 315, B 423n; también Ak 4:314s, Ak 4:315.

[4] La ciencia entendida como logoteca es precisamente lo que Ernan McMullin (1970) llama S_1. Helge Kragh (1989, 22) lo explica así: en una primera acepción de la palabra, "la ciencia (S_1) puede considerarse como una colección de aseveraciones empíricas y formales acerca de la naturaleza, las teorías y datos que, en un momento dado del tiempo, abarcan el conocimiento científico aceptado"; en una segunda acepción, "la ciencia (S_2)… consiste en las actividades o conducta de los científicos, incluyendo los factores de importancia para esta, en cuanto esas actividades están conectadas con empresas científicas". Por eso, no deja de asombrarme que un autor tan hábil como Jean Gayon (2003, 95) afirme, citando a Kragh, que Bachelard como historiador de la ciencia solo se interesó en S_1. Es cierto que Bachelard nunca consideró los factores sociales destacados *entre deux guerres* por los sociólogos de la ciencia alemanes y por la escuela de Edimburgo después de la segunda; pero la ciencia fenomenotécnica como él la entiende está lejos de ser una colección de aseveraciones, fija o creciente. Admito que "la reflexión bachelardiana sobre la historia de las ciencias… no concierne sino el aspecto cognitivo del fenómeno histórico que constituye la ciencia" (Gayon 2003, 98). Diría, sin embargo, que para Bachelard dicho aspecto cognitivo justamente no consiste ni se manifiesta en la colección de aseveraciones.

[5] Cito el DRAE: "TECNOLOGÍA. (Del gr. τεχνολογία, de τεχνολόγος, de τέχνη, arte, y λόγος, tratado). **1**. f. Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico."

difícil que igualar incesantemente el Espíritu a la Realidad presente. En cambio, la técnica realiza plenamente su objeto y este objeto, para nacer, ha debido satisfacer condiciones tan numerosas y tan heterogéneas que escapa a las objeciones de todo escepticismo. Es una prueba fáctica (*preuve par le fait*) en la plena acepción del término" (CA, 155).[6]

En dos libros publicados en 1932 (y por tanto contemporáneos de "Noúmeno y microfísica") se advierte que Bachelard ya había llegado a la concepción de la ciencia como fenomenotecnia que defenderá en lo sucesivo. "El empirismo enteramente pasivo, que esencialmente implica innumerables condiciones, tiende a dar lugar a una experiencia activa cuya producción se efectúa con precisión y sin aberración posible si uno ha puesto cuidado en ejecutar todas las prescripciones en orden, una a una" (IA, 140). "Repasando la historia del esfuerzo de la química para lograr el cuerpo simple, definido, puro, uno se da cuenta de que *casi* tiene derecho a decir que la experiencia química moderna crea las substancias, o al menos que al refinarlas les confiere sus verdaderos atributos" (PC, 46; el adverbio que he puesto en cursiva refleja aún cierta timidez).

En *La formación del espíritu científico* (1938), el nuevo modo de entender la ciencia recibe una de sus formulaciones más claras y contundentes en un pasaje donde Bachelard explica "la verdadera actitud del pensamiento científico moderno en la formación de conceptos" (FES, 60):

> La riqueza de un concepto científico se mide por su capacidad de deformación. Esta riqueza no puede asociarse a un fenómeno aislado que sería reconocido como cada vez más rico en caracteres, cada vez más rico en comprensión. Pero tampoco puede asociarse a una colección que reuniera los fenómenos más heteróclitos, que se extendiera, *de manera contingente*, a nuevos casos. Se realizará el matiz intermedio requerido si el enriquecimiento en la extensión se torna *necesario*, igualmente coordinado que la riqueza en comprensión. Para englobar la nuevas pruebas experimentales hará falta entonces *deformar* los conceptos primitivos, estudiar sus condiciones de aplicación y, sobre todo, incorporar *las condiciones de aplicación de un concepto en el sentido mismo de ese concepto.* […]
>
> Como la aplicación está sometida a aproximaciones sucesivas, puede decirse que el concepto científico correspondiente a un fenómeno particular es el *agrupamiento* de las aproximaciones sucesivas bien ordenadas. La conceptualización científica necesita una serie de conceptos en vías de perfeccionarse para recibir el dinamismo al que apuntamos, para formar un eje de pensamientos inventivos.
>
> Esta conceptualización totaliza y actualiza la historia del concepto. […] Empujada por la historia, ella suscita experimentos para deformar una etapa histórica del concepto. En el experimento, busca ocasiones para *complicar* el concepto, para *aplicarlo* a pesar de la resistencia del concepto, para realizar las condiciones de aplicación que la realidad no reunía. Entonces es que uno se da cuenta de que la ciencia *realiza* sus objetos, sin nunca hallarlos acabados. La fenomenotecnia *extiende* la fenomenología. Un concepto se habrá vuelto científico en la proporción en que se haya vuelto técnico, en que esté acompañado de una técnica de realización. (FES, 61)

Para apreciar la radicalidad y vitalidad de esta idea de fenomenotecnia, es oportuno contrastarla con otra visión de las relaciones entre teoría y experiencia que entre 1925

---

[6] En la misma dirección apunta este pasaje de *La experiencia del espacio en la física contemporánea* (1937): "Los resultados brutos, aislados, siempre flotantes, designan mal lo real. Es más seguro designar lo real por las operaciones que producen el fenómeno" (EE, pp. 85-86).

y 1955 – esto es, en los mismos años en que Bachelard elaboraba la suya – llegó a tener gran autoridad bajo los auspicios del autodenominado positivismo/empirismo lógico. En su primera etapa ("positivista"), los filósofos de esta escuela adhieren al dogma de la Inmaculada Percepción, según el cual la experiencia aporta datos vírgenes, no mancillados por la engañosa inteligencia humana, y las teorías científicas pueden y deben representar esos datos. El tránsito a la segunda etapa ("empirista") ocurre después de 1930, a raíz de las críticas de Otto Neurath, quien, a la vez que recalcaba el carácter irremisiblemente subjetivo de una experiencia concebida a la manera positivista, hizo presente que las aseveraciones científicas se establecen o justifican comparándolas con otras aseveraciones, no con datos prediscursivos. Según el empirismo lógico, la experiencia a la que las teorías científicas tratan de ajustarse se presenta descrita conforme a las convenciones lingüísticas en vigor, en términos tales que, bajo las circunstancias apropiadas, *cualquier persona* sea capaz de decidir, al cabo de unas pocas observaciones, si acepta o rechaza la atribución de uno de esos términos a un referente singularizado.[7] En tal caso, evidentemente, el discurso portador de la experiencia se confunde al menos con una parte de lo que Bachelard llama conocimiento común. Pero, mientras Bachelard constata que el conocimiento científico repiensa – y sobre todo *rehace* – la experiencia *rompiendo* con el conocimiento común, los empiristas lógicos demandan que aquél se ciña a éste, al que presumen menos deshilvanado y más definitivo y ahistórico de lo que es.

Hacia 1960, la influencia del empirismo lógico en las universidades de habla inglesa empezó a flaquear debido a su incapacidad para sortear varios escollos. El más comentado es su fallida pretensión de separar los términos empleados en el discurso científico en dos grupos mutuamente excluyentes: los términos "observacionales" descritos en el párrafo anterior y los términos "teóricos", cuya aplicabilidad a un objeto dado no puede ser decidida por cualquiera al cabo de unas pocas observaciones y cuya "traducción" o "reducción" a términos observacionales el empirismo lógico reclama pero no logra hacer efectiva. Esta pretensión fue siempre ajena al pensamiento de Bachelard. No tuvo él que esperar a que Hanson (1958) y Feyerabend (1960) enunciaran y defendieran la tesis de que todos los términos de las ciencias están "cargados de teoría". Ya en su tesis doctoral de 1927 escribe: "Lo dado (*le donné*) es relativo a la cultura, está necesariamente implicado en una construcción. Si no tuviera ninguna forma, si fuera un puro e irremediable caos, la reflexión no tendría cómo captarlo. Pero a la inversa, si la mente (*l'esprit*) no tuviera ninguna categoría, ningún hábito, la función 'dato' (*la fonction «donné»*) en la acepción precisa del término, no tendría sentido alguno. *Es menester que un dato sea recibido.* Jamás se llegará a disociar completamente el orden del dato y el método de su descripción y tampoco a confundirlos uno dentro del otro" (CA, 14-15). Por otra parte, claro está, Bachelard tuvo la amplitud de miras suficiente para comprender que el tinglado cultural en que cobran vida cognitiva los datos de los

[7] Parafraseo aquí la definición de 'predicado observable' propuesta por Carnap (1936/37, 454-455). En vez de "cualquier persona", Carnap dice "cualquier organismo (vgr. una persona)"; pero yo no sabría decir qué clase de organismo *que no sea una persona* podría estar en condiciones de decidir si acepta o no la atribución de un predicado *P* a un referente *b*.

sentidos no es propiamente una teoría científica. Reiteradamente subrayó el poder de la facultad de soñar en la constitución original de la experiencia humana (PF, 44, 48; MR, 17). La objetividad científica resulta del enfrentamiento entre la "razón aplicada" y aquella facultad, y de su ruptura con ella. La iniciativa compete aquí a otra facultad creadora, que produce – inventa – estructuras matemáticas, y luego inspira y guía la realización "fenomenotécnica" de estas. "¿De qué serviría… separar la noción de objetividad y la noción de realidad y repetir sin cesar que la objetividad de la experiencia es posible porque la realidad existe de lleno, una e inmutable, objetivamente? Esta existencia incondicionada es oscura, vaga, ilusoria. Ella no puede justificar las correlaciones de la objetividad. Por el contrario, al nivel de los operadores[8] bien definidos y bien agenciados, la objetividad se organiza naturalmente. Su organización es la que posee estabilidad, permanencia, determinación, coherencia, en suma todos los caracteres que se atribuyen de ordinario a la realidad" (EE, 86). "Si la ciencia fuese una descripción de una realidad dada, no se ve con qué derecho la ciencia *ordenaría* esta descripción" (RA, 8).

Un segundo escollo, no menos fatal para la supervivencia del empirismo lógico, se hizo patente con la inanidad de los esfuerzos de Carnap y otros para elaborar criterios y procedimientos satisfactorios para confirmar las generalizaciones científicas. En su *Lógica de la investigación científica* (publicada en alemán en 1935; pero disponible en inglés solo desde 1959), Karl Popper argumentaba que, por razones puramente lógicas, a una generalización nunca se la puede *confirmar*, esto es, darla por cierta,[9] sino que a lo sumo es posible *corroborarla* sometiéndola insistentemente a pruebas severas dirigidas a establecer su falsedad (cuyo fracaso reiterado, según Popper, reforzaría la verosimilitud de la generalización). Desde su primer libro, Bachelard no fue ni una pizca menos falibilista que Popper, pero aborda este asunto con más sutileza y menos ingenuidad. Aunque ese libro trata del *conocimiento aproximativo* (*la connaissance approchée*), en ningún momento se propone establecer una *medida* de la verosimilitud de las aseveraciones científicas, una empresa en la que Popper había de fracasar irremediablemente. La voz 'aproximativo' sugiere, sin duda, una distancia entre el conocimiento así calificado y lo que supuestamente sería su meta, a saber, la descripción exacta y cabal de una situación bien determinada, tal como es. Pero Bachelard no usa 'aproximación' de esta ma-

---

[8] En el presente contexto, la voz 'operadores' alude especialmente a los operadores lineales sobre espacios de Hilbert familiares en mecánica cuántica. Pero Bachelard los concibe en acción en la práctica científica, poniendo – como él dice – "en relación la doctrina de los operadores (doctrina de inspiración simbólica) con la traducción matemática de la experiencia (doctrina de inspiración realista" (EE, 98); bajo esta perspectiva, "un operador matemático está constituido por el conjunto de las acciones racionales que pretendemos ejercer para ordenar una realidad más o menos amorfa" (ibid.). Bachelard rechaza enfáticamente a quienes ven en la matemática solamente un lenguaje, y no una forma de pensamiento: "Creéis que la asociación de los símbolos genera fórmulas abracadabrantes; yo creo que la asociación de los operadores da palabras vivas, frases pensadas, frases pensantes. Jamás el valor inductivo de las matemáticas ha sido tan grande como en la constitución de la mecánica ondulatoria" (EE, 95-96).

[9] Establecer con certeza un aserto general de la forma $\forall x \mathrm{P}x$ supone cerciorarse de que el aserto particular de la forma $\neg \mathrm{P}u$ es falso para cada referente u en el recorrido de la variable x. Popper daba por descontado que ello no es factible si la variable x recorre todo el universo del discurso científico.

nera. "La fuente primera de la objetividad – escribe – no es el objeto, es el método objetivo… no es el término final de la aproximación, es el método de aproximación. Los valores de certeza están asociados a la preparación experimental más bien que a los resultados de la experiencia" (EE, 85). La aproximación epistémica es tanto mayor cuanto más pequeño sea el margen de error con el cual la aseveración enjuiciada es compatible, cuanto menor sea el orden de magnitud dentro del cual es aplicable. Bachelard se complace en jugar con las ideas de aproximación y convergencia a un límite que subyacen la definición cantoriana de los números reales mediante secuencias de racionales. Conforme a esta definición (Cantor 1872), el límite real al que converge una secuencia de racionales α no es otra cosa que esta secuencia misma, o, más exactamente, la familia $[\alpha]$ de secuencias de Cauchy con las que α tiene una bien definida relación de equivalencia.[10] Contra lo que se figuraría un principiante ingenuo, el número real π no se concibe entonces como un objeto ajeno al dominio de los racionales al cual la secuencia (3, 3,1, 3,14, 3,141, 3,1416, 3,14159,…) se acerca – ¿adónde? – cada vez más, sino como la clase de todas las secuencias de racionales equivalentes a esta (dicho sin ambigüedad: como la clase de todas las secuencias equivalentes a (a_1, a_2,…), donde

$$a_n = 4\sum_{k=1}^{n} \frac{(-1)^{k-1}}{2k-1}$$

En el mismo ánimo, hablamos de termómetros capaces de medir con mayor o menor aproximación la temperatura imperante en un lugar y momento particulares, si bien la noción de temperatura es puramente estadística y no corresponde a un atributo cuantitativo de los cuerpos, existente en sí y por sí, que las mediciones termométricas reflejen con mayor o menor fidelidad.[11] Bajo esta perspectiva, nada impide certificar las generalizaciones científicas dentro de un margen de error convenido, para un determinado orden de magnitud. La objeción de Popper contra la confirmación de las generalizaciones responde a una idea precientífica, ahistórica, estática del conocimiento y la verdad, que Bachelard desechó de entrada.

A la luz de la práctica efectiva de la física – pero también de la química (PC, MR) – en los siglos XIX y XX, Bachelard concibe la ciencia fenomenotécnica como un proceso interactivo, albergado y alentado por la comunidad de los investigadores (*la cité scientifique*[12]), algunos de los cuales inventan conceptos matemáticos que se usan para "modelar" fenómenos – esto es, representarlos simplificada e idealizadamente – mientras que otros trabajan en producir en sus laboratorios fenómenos que realicen los modelos construidos usando esos conceptos.[13] Tomemos un ejemplo trillado, que tie-

[10] Expliqué la definición de Cantor y los términos técnicos aquí utilizados en Torretti 1998, 16-18.

[11] Supongamos que durante los últimos doce meses mantuve en mi alacena un promedio de 7,83 huevos de gallina (valor obtenido sumando el número de huevos que había al final de cada día y dividiendo la suma por 365) y que ahora hay exactamente 9. La temperatura en un lugar y momento determinados no es un número como este último, sino como aquel.

[12] MR, 2, 79, 81, 86, 175; la expresión aparece ya en RA, 174 y AR, 28.

[13] A mi modo de ver, hay realización de un modelo matemático en un fenómeno no sólo cuando este es producido originalmente en un laboratorio con propiedades que manifiestamente satisfacen las condiciones del modelo, sino también cuando, mediante un trabajo de interpretación y de cómputo que

ne el mérito de ser bastante sencillo y obvio. Alrededor de 1860, Maxwell creó una teoría matemática que daba cuenta de los fenómenos electromagnéticos conocidos hasta entonces, vale decir, que permitía concebirlos – dentro de un margen de error aceptable – como realizaciones de modelos propuestos por esa teoría. Esa teoría permitió repensar la luz como un fenómeno electromagnético y contemplar la producción controlada de señales electromagnéticas que se propagarían en el vacío con la misma facilidad y rapidez que la luz. Casi treinta años después Hertz produjo tales señales en su laboratorio. Durante el siglo siguiente el fenómeno creado por Hertz siguiendo las indicaciones de la teoría de Maxwell fue reproducido industrialmente en múltiples formas, revolucionando las comunicaciones humanas, a través de la telegrafía sin hilos, la radio, la televisión, la telefonía inalámbrica, la internet, etc. Aunque en el orden de magnitud de la microfísica ha sido necesario repensar los fenómenos electromagnéticos en una teoría cuántica, los sistemas de comunicaciones se entienden y diseñan todavía en el marco de la electrodinámica clásica. En ese marco, utilizando la teoría matemática de las series de Fourier, es posible concebir y – ciñéndonos a este concepto – efectuar la transmisión a larga distancia, vía satélite, de múltiples mensajes telefónicos que la estación emisora combina en una sola señal de frecuencia modulada y que luego son desglosados en la estación receptora de modo que cada destinatario escuche claramente el mensaje dirigido a él y ningún otro. La simultánea ocurrencia en todo momento, a satisfacción de los interlocutores, de un sinnúmero de conversaciones de este tipo, constituye, en la acepción común de estos términos, una *realización* de lo pensado y una *confirmación* de lo propuesto por matemáticos, físicos e ingenieros. No veo qué utilidad podría atribuirse a las voces 'conocimiento' y 'verdad', si no es apropiado emplearlas para referirse, entre otras cosas, a la teoría y la práctica de las comunicaciones modernas. El conocimiento invariable y la verdad descontextualizada pervivirán como sueños de la filosofía precientífica; pero, mientras esta no los exhiba realizados, no hay razón para apartarse del inveterado uso prefilosófico de esas voces.

2. Inducción como conceptualización

"La conceptualización y la inducción representan la misma operación" (CA, 127). Esta frase de Bachelard expresa lo que, a mi entender, fue una de sus ocurrencias filosóficas más importantes: la llamada *inducción* no es – como aún se lee en algunos manuales – una forma de inferencia lógica que conduce de premisas particulares a conclusiones universales, la que, como tal, sería por cierto inválida; sino que es propiamente el reverso de la operación de captar lo particular bajo un concepto general, operación requerida para la objetivación de lo particular, a saber, la operación – imprescindible cuando se trata de objetivar lo particular – que consiste en inventar (*invenire*) un concepto general idóneo para captarlo. La idea es sencilla y obvia, y ha sido debidamente

suele ser arduo y prolijo, un científico logra encuadrar en el modelo datos registrados mediante la observación del fenómeno. Pienso en el caso de Kepler, que labora durante años ajustando las observaciones de Marte reunidas por Tycho Brahe a la figura de la elipse, concebida 18 siglos antes por Apolonio de Perga (cf. Torretti 2007, 145-168). Como es sabido, observaciones de mayor precisión que las que Kepler recibió de Brahe no se dejarían conciliar con una trayectoria elíptica. Pero esto no invalida o "falsifica" la primera ley de Kepler en su propio grado o nivel de aproximación.

destacada por quienes escriben sobre Bachelard (*vide* Tiles 1984, 137-139; cf. Bontems 2010, 57-64); pero no he visto que tenga parte en el debate filosófico internacional sobre las generalizaciones científicas. Aparentemente los filósofos escolares prefieren sustraerse a su principal implicación, a saber, que en el mismísimo acto de captar como objeto epistémico el devenir contingente manifiesto a los sentidos, el intelecto humano tiende sobre él una red de conexiones necesarias.

Sea, pues, x un cierto estado de cosas, proceso o evento físico, delineado conforme a un concepto C y captado como realización suya. El referente de x, identificable de buenas a primeras como fugaz vivencia o agregado de vivencias, adquiere estabilidad como objeto de conocimiento solo al ser captado bajo un concepto. Ello requiere que se perciba o se crea percibir en x el cumplimiento de alguna condición P que es suficiente para ser en efecto una realización de C. Ahora bien, si x satisface la condición P, suficiente para ser C, satisface también inevitablemente todas las condiciones $Q_1,\ldots, Q_n$ que son necesarias para ser C. Por tanto, aunque una de estas condiciones Q_k $(1 \leq k \leq n)$ no sea patente en x – por ejemplo, porque está oculta, o se manifestaría solo a una observación más diligente, o pertenece a su desarrollo futuro – podemos concluir con certeza que x cumple o cumplirá Q_k. Esta no es una pretendida inferencia "inductiva" de lo particular a lo general, sino una clásica inferencia deductiva de la condición P – en virtud de cuyo cumplimiento x es captado como realización de C – a la condición Q_k, que x no puede dejar de cumplir si es de veras una realización de C. Como la objetividad de x supone *algún* concepto bajo el cual se capta a x, si hay condiciones necesarias para la realización de ese concepto, en cuanto se lo emplee para captar a x será forzoso admitir que x cumple esas condiciones necesariamente, no importa que tal cumplimiento sea patente o latente, presente, pasado o futuro.

En un libro sobre *El fundamento de la inducción* repetidamente mencionado por Bachelard (CA, 129, 130, 132), Jules Lachelier atribuye este enfoque nada menos que a Aristóteles. Cita un pasaje insertado entre paréntesis hacia el final de los *Segundos Analíticos*, el cual, según Lachelier, explicaría y vindicaría la inducción en estos términos: "Percibimos los seres individuales; pero el objeto propio de la percepción es lo universal: el ser humano, y no el hombre que se llama Calias".[14] Tal envolvimiento inevitable del concepto en la percepción – que Kant justificará muchos siglos más tarde mediante su célebre "deducción trascendental" – es asumido por Aristóteles como un dato fáctico: las cosas son así, la vida es así, así es el conocimiento. Cada individuo percibido – cada τόδε τι – se presenta a la percepción como sujeto portador o poseedor de diversos atributos universales, varios de los cuales suelen ir siempre juntos; aunque, ello no obstante, no se los concibe, en cuanto tales, como condición suficiente o necesaria de la presencia de los otros. Por ejemplo, un cuerpo de agua es húmedo y frío y además es pesado (es decir, encierra un principio inherente de movimiento y reposo en virtud del cual, si nada lo impide, se moverá espontáneamente hasta el centro del

[14] Lachelier 1898 [1871], 7. Mi traducción se ciñe a la francesa de Lachelier. Directamente del griego, yo traduciría el pasaje así: "Pues se percibe lo individual, pero la percepción es de lo universal, vgr. del *ser humano*, no del *ser humano Calias*." (Καὶ γὰρ αἰσθάνεται μὲν τὸ καθ' ἕκαστον, ἡ δ' αἴσθησις τοῦ καθόλου ἐστίν, οἷον ἀνθρώπου, ἀλλ' οὐ Καλλίου ἀνθρώπου – *Anal. Post.*, 100a16-b1).

universo y se detendrá allí); pero no hay en los conceptos de humedad y frialdad que, según Aristóteles, conjuntamente caracterizan el agua, nada que la constriña a ser *pesada* y justamente *menos pesada* que la tierra; así como no hay nada en la sequedad y calidez del fuego que lo constriña a ser *liviano* – es decir, a moverse espontáneamente hasta la periferia del universo y detenerse allí cuando la alcance – y a ser justamente más liviano que el aire. Las propiedades gravitatorias universales de los cuatro elementos sublunares no se deducen pues del atributo hígrico (*húmedo* o *seco*) y del atributo térmico (*frío* o *caliente*) cuya conjunción caracteriza a cada uno de ellos. Si Aristóteles da por descontado que a cada elemento pertenece invariablemente la propiedad gravitatoria indicada, es solo en virtud del hábito de verla siempre asociada a él. En este caso, pues, la inducción no se deja equiparar a la conceptualización y cae redondamente bajo las críticas de Hume o Popper. Me temo que en el seno de la llamada ciencia aristotélica esta situación no es nada excepcional. No es una casualidad que, mientras las universidades europeas estuvieron dominadas por el aristotelismo, fueran irrisorios sus aportes al conocimiento científico.

La física moderna trastrocó por completo esta forma de conceptualización. En franca oposición a la postura de Aristóteles, para quien los conceptos matemáticos eran, en principio, inadecuados para pensar en las cosas naturales,[15] la nueva física propone modelos matemáticos para familias de fenómenos cuyo desarrollo típico le interesa prever y controlar. La conexión necesaria entre los diversos aspectos y componentes de la estructura compleja del modelo cimienta entonces lo que podemos llamar con Bachelard su "valor inductivo". Para elucidar este aserto, recurriré a un ejemplo temprano y elemental: el modelo galileano del movimiento de un proyectil cerca de la superficie de la Tierra. Este es concebido como la realización combinada de dos formas ideales de movimiento, que Galileo define con precisión cinemática cabal: (i) el movimiento uniforme con que el proyectil se mueve desde que deja de actuar sobre él la musculatura o la pólvora que lo disparó, y (ii) el movimiento uniformemente acelerado que Galileo postula como modelo de la caída libre. De la definición de ambas formas es posible deducir la trayectoria exacta de un cuerpo que las combine sin más. Esta trayectoria depende de la dirección inicial del movimiento (i). El modelo galileano permite así determinar el ángulo que debe darse a un cañón para maximizar la longitud de tiro (45º sobre el plano horizontal). Retomando lo dicho al comienzo de esta sección: si un proyectil de artillería satisface en un momento dado las condiciones *suficientes* para combinar la caída libre con un movimiento inercial en los términos del modelo galileano, satisfará también inevitablemente, *ceteris paribus*, todas las condiciones *necesarias* para ser una realización de ese modelo.

La conclusión alcanzada es segura si el modelo propuesto es idóneo,[16] esto es, si, con un grado aceptable de imprecisión, el movimiento del proyectil de veras satisface

[15] Véase Aristóteles, *Phys*. 194a2-7, 12-27; *Metaph*. 1025b30-1026a7 (cito estos pasajes en castellano en Torretti 2007, 50-51, y en griego, ibid., 310-311).

[16] El adjetivo castellano 'idóneo" traduce literalmente el término *idoine* empleado por Ferdinand Gonseth para calificar las nociones y conceptualizaciones científicamente satisfactorias. Tiene sobre el original

alguna de las condiciones suficientes del concepto bajo el cual se lo piensa. No cabe pretender que lo satisfaga del todo, porque para pensar el fenómeno como realización del modelo matemático es menester ignorar una multitud de aspectos de aquél. Algunos, como la composición química del proyectil, son – suponemos – completamente irrelevantes a su trayectoria; pero otros ciertamente no lo son: el modelo no tiene en cuenta la resistencia del aire, ni la variación de la aceleración de gravedad con la distancia al centro de la Tierra, ni la desviación de la trayectoria del proyectil debido a que el modelo la calcula refiriéndola a un marco inercial, pero un marco fijo en la Tierra no lo es sino en una primera aproximación.[17] Además, evidentemente, dejará de satisfacerlo si sobrevienen eventos significativos – como una colisión con un antiproyectil interceptor – no incluidos en la configuración del modelo (a esto quise aludir arriba con la cláusula *ceteris paribus*). Con estas reservas, el modelo galileano permite prever la trayectoria de los proyectiles dentro de un margen de error compatible con los intereses en juego.

La inducción que la conceptualización galileana habilita vale, por cierto, solamente *neglectis negligendis*, es decir, desdeñando lo que efectivamente es desdeñable para el propósito de la tarea entre manos. Desde hace cuatro siglos, este modo de pensar y conocer se ha fortalecido, complicado y expandido continuamente, hasta convertirse en el rasgo más distintivo de la cultura euroamericana, ahora global. La mentalidad precientífica tradicional, incapaz de asimilar la idea misma de una *verdad contextualizada que se conoce aproximativa y faliblemente*, contempla atónita y con creciente repugnancia cómo esta idea va tomando el control de los actos de intelección y decisión en casi todas las áreas de la vida humana.

La claridad que espero haber arrojado sobre el modo de operar del conocimiento físico-matemático en el ejemplo propuesto nos da también nuevas luces sobre la noción bachelardiana de ruptura epistémica. Apenas una conceptualización se muestra inepta para captar un estado de cosas al que parecía convenirle, se busca reemplazarla con otra más idónea. En la vida diaria, esto ocurre a cada paso: el tribunal de alzada rectifica las calificaciones del caso fallado en primera instancia y, conforme a su propio modo de concebirlo, aumenta o disminuye la indemnización o la pena; el médico modifica el diagnóstico de la enfermedad y le cambia el tratamiento; el jardinero reclasifica esta semana la planta que asomó sorpresivamente en el prado a comienzos de la semana anterior; el paseante concluye, al acercarse a otro, que este no es el amigo con quien lo confundió cuando lo vio de lejos y se pregunta quién será y si es o no un antiguo conocido suyo. Cuando, como suele ocurrir en la historia del conocimiento científico, no hay una conceptualización idónea disponible, es preciso inventar una nueva. Esta puede consistir en una generalización o expansión de la que ha servido hasta entonces en situaciones afines; así, Newton capta la Luna como un cuerpo en caída libre

francés la ventaja de ser una palabra más corriente. En IED (1950), Bachelard rinde sentido homenaje a su camarada filosófico Gonseth.

[17] Las llamadas "fuerzas de inercia" ("fuerza" centrífuga, "fuerza" de Coriolis) no afectan significativamente un tiro de cañón como los que Galileo tuvo presentes, pero hay que tenerlas en cuenta al calcular la trayectoria de un proyectil intercontinental. La mecánica clásica las concibe y determina con precisión; véase, por ejemplo, Landau y Lifschitz 1960, 128.

hacia la Tierra, hecha la salvedad de que la fuerza que la acelera no es constante como en el modelo galileano, sino que depende de la distancia entre ambos cuerpos. Pero la conceptualización disponible puede no tener arreglo o, incluso si lo admitiera, ceder el paso a la creación brillante de un físico joven y arrollador.

En tal caso, ocurre una ruptura epistémica. La nueva conceptualización, justamente porque es nueva, es irreducible a la anterior e imprevisible a partir de ella. Pero el salto de una a la otra no tiene nada de la irracionalidad que la escuela de Kuhn atribuye a los "cambios de paradigma", asimilándolos a una conversión religiosa. La nueva conceptualización repiensa las situaciones que la conjuraron y provoca el diseño de nuevos procedimientos para realizarla. Pero, a diferencia de una nueva ideología o "cosmovisión", ella no desecha ni descalifica las otras conceptualizaciones disponibles para enfrentar a otro género de situaciones – o a las mismas con menos acribia. Por el contrario, es propio del pensamiento científico un afán de insertar o empotrar en la nueva conceptualización aquellas que esta supera, de modo de englobarlas en ella. Es un lugar común que, gracias a Maxwell, la teoría clásica del electromagnetismo absorbió la óptica. Y durante más de un siglo ha prosperado la industria casera dedicada a "reducir" la termodinámica a la mecánica estadística.

Como la generalización o expansión de una estructura matemática es la vía usual – y casi diríamos natural – de crear otras nuevas, el susodicho afán no es absurdo y en más de un caso ha hallado satisfacción. Sin embargo, la generación de una estructura matemática M_2 por expansión de otra M_1 no garantiza que una teoría física T_1 que se vale de M_1 se deje tratar simplemente como un caso límite de otra teoría T_2 que se vale de M_2 y se pueda "reducir" a esta.[18] Piénsese en la familiar expansión de la aritmética desde el monoide $\mathbb{N}$ de los números naturales, pasando por el anillo $\mathbb{Z}$ de los enteros y el cuerpo $\mathbb{Q}$ de los racionales, hasta formar el cuerpo $\mathbb{R}$ de los números reales (o, yendo aún más allá, el cuerpo $\mathbb{C}$ de los complejos). Aunque la aritmética identifica cada número natural (0, 1, 2,…) con un elemento de $\mathbb{R}$ (y aun de $\mathbb{C}$), una teoría físico-matemática que se valga de $\mathbb{N}$ para construir un modelo en que solo entran cosas y cantidades discretas difícilmente podría entenderse como caso límite de una teoría del continuo, "reducible" a esta.

En su ensayo de 1929 sobre *El valor inductivo de la relatividad*, Bachelard toma posición frente a un célebre caso de este género: la relación entre las teorías newtoniana y einsteiniana de la gravitación. La estructura abstracta que comparten los modelos einsteinianos del campo gravitacional es una variedad diferenciable de cuatro dimensiones, provista de una métrica (semi-)riemanniana que converge a la métrica del espaciotiempo de Minkowski en un entorno de cada punto. Por esto, tiene sentido decir con Einstein que su teoría de la gravedad generaliza su primera teoría de la relatividad – ahora llamada "especial" – cuya estructura subyacente es el espaciotiempo de Minkowski. Pero Bachelard se niega – con toda razón, diría yo – a ver en la teoría de la gravedad de Newton un caso límite de la de Einstein y en esta una generalización de aquella, por

---

[18] Escribo "reducir" entre comillas de alarma porque la palabra admite más de un sentido, y muy bien puede ocurrir que T_1 sea "reducible" a T_2 en alguno de ellos – tal vez, en uno trivial – y no lo sea en los otros.

más que las predicciones de ambas concuerden para ciertos valores de los parámetros relevantes (campos débiles, velocidades bajas). Ambas "siguen, hasta en su intento de precisión, dos órdenes de pensamiento enteramente heterogéneos.… No es *una parte de una cosa* lo que el sistema newtoniano descarta, sino *otra cosa.* Y lo que se descarta es susceptible de desfigurar el problema. Al hacer abstracción de una curvatura, el sistema desconoce un carácter esencial" (VIR, 44-45).[19] La formulación covariante de la teoría de la gravedad de Newton (Cartan 1923, Friedrichs 1927) facilita su comparación con la de Einstein, pero no autoriza a verla como un caso particular de esta. Otro tanto puede decirse del llamado formalismo parametrizado postnewtoniano, que emplea la astronomía actual para cotejar teorías alternativas de la gravedad con las mediciones registradas (Will 1993, chs. 4-6).

Es verdad que el concepto de lo que hoy llamamos una variedad riemanniana fue creado ex profeso para proveer a la física de una estructura abstracta capaz de sustituir, si hiciese falta, a la geometría euclidiana, pero que, sin embargo, en vista del éxito que esta ha tenido hasta ahora, le fuese lo bastante próxima.[20] Para Bachelard, este es un ejemplo egregio del aporte que hace el pensamiento matemático a la creación de conceptos científicos. En particular, destaca el efecto catalizador que ejerció sobre la física de Einstein el "cálculo tensorial", esto es, el cálculo diferencial absoluto desarrollado por Ricci y Levi-Civita (1901) para trabajar con variedades riemannianas. "El Cálculo Tensorial es verdaderamente el marco psicológico del pensamiento relativista. Es un instrumento matemático que crea a la ciencia física contemporánea. …La sola expresión matemática es lo que permite pensar el fenómeno" (NES, 56).[21] En el libro sobre la teoría de la relatividad, nos invita a considerar "el vínculo algebraico que lleva

---

[19] Bachelard, en mi opinión, acierta en su juicio temprano sobre la relación conceptual entre la física de Newton y la de Einstein. Posteriormente verá aquí una *generalización dialéctica* que engloba o envuelve aquello que niega.

[20] Riemann 1867, 140, explica que lo que hoy llamamos una métrica riemanniana – cuyo elemento de línea *ds* es igual "a la raíz cuadrada de una función homogénea de segundo grado siempre positiva" de los diferenciales de las coordenadas:

$$ds = \sqrt{\sum g_{ik} dx^i dx^k}$$

– es el caso más simple concebible de una métrica para una variedad diferenciable; que la métrica euclidiana – expresable en coordenadas cartesianas por

$$ds = \sqrt{\sum_i \left(dx^i\right)^2}$$

– es un ejemplo particular de ese caso más simple; y que el caso que le sigue en orden de complejidad creciente – "las variedades… cuyo elemento de línea se deja expresar mediante la raíz cuarta de una expresión diferencial de cuarto orden" – no merece ser investigada, ya que esta clase no envuelve principios esencialmente diferentes, demandaría bastante tiempo y *arrojaría relativamente poca luz nueva sobre la teoría del espacio físico.* La última cláusula se basa, creo, en los logros obtenidos hasta entonces por una física que descansaba en la geometría euclidiana.

[21] Personalizo a "la ciencia física contemporánea", anteponiéndole la preposición "a", solo para asegurar que se entienda que ella es el objeto directo del verbo "crear" (en el original francés, no cabe la duda). La última oración – en francés, "c'est l'expression mathématique qui, seule, permet de penser le phénomène" – precede en el original a las dos anteriores y está separada de ellas por una cita de Langevin que omito.

del tensor de Riemann-Christoffel, enteramente próximo a las definiciones axiomáticas, al tensor contractado correspondiente,[22] a partir del cual se expresan los caracteres materiales" (VIR, 159). Este vínculo, prosigue Bachelard, tiene un carácter "inductivo" (hoy, quizás, diríamos "heurístico"; pero a la luz de lo que llevamos dicho el término bachelardiano tiene la ventaja de aludir expresamente a la creación de conceptos, mientras que el otro, derivado de εὑρίσκω, 'hallar', sugiere la existencia de una realidad predeterminada que el científico meramente encuentra): "Nada obligaba a adoptar para la materia formas tensoriales que son parientes tan próximos de las condiciones geométricas generales. En particular, los caracteres matemáticos de la materia ciertamente no se deducen. A lo sumo, uno verifica mediante la deducción ciertas formas matemáticas. Pero es un pensamiento más profundo y dotado ya de su consistencia propia el que propone y enlaza las formas matemáticas cuyo valor explicativo debemos verificar. Es en la elección de estas formas diversas que trabaja el pensamiento inductivo" (VIR, 159).

Los modelos innovadores no logran entonces siempre englobar a aquellos que están llamados a sustituir. Sin embargo, si estos siguen siendo idóneos a algún nivel de precisión interesante, pueden colaborar con aquellos en la reconstrucción detallada de la experiencia. En este sentido, el célebre caso de la precesión del perihelio de Mercurio, ofrece un ejemplo notable de colaboración entre la mecánica celeste newtoniana y la einsteiniana.[23] De los 6.000″, más o menos, que el perihelio de Mercurio avanza cada cien años relativamente al sistema de coordenadas al que referimos las observaciones astronómicas, casi un 90% se explica por la precesión general de los equinoccios y es, por tanto, una consecuencia de emplear un sistema de coordenadas geocéntrico. La astronomía decimonónica dedujo un avance adicional de 530″ de la interacción entre Mercurio y los demás planetas conforme a la ley de gravitación universal de Newton. Restaba un avance secular de alrededor de 43″, que antes de Einstein se trató de explicar con hipótesis que no fueron confirmadas (una mayor discrepancia entre el diámetro máximo y el mínimo del Sol; una mayor densidad del gas que lo separa de Mercurio) o que parecen traídas de los cabellos (atracción de gravedad inversamente proporcional a una cantidad un poquito diferente del cuadrado de la distancia). En noviembre de 1915 Einstein anunció triunfalmente que una solución aproximada de sus nuevas ecuaciones del campo gravitacional predecía justamente un avance del perihelio de Mercurio en 43″ por siglo. Poco más tarde, el mismo resultado pudo dedu-

---

[22] Bachelard alude la operación algebraica que lleva del tensor de Riemann R^h_{ijk} al tensor de Ricci $R_{ij} = R^k_{ijk}$. Este tensor ocupa el lado izquierdo de las ecuaciones de campo de Einstein, cuando al lado derecho representamos la distribución de la materia mediante la expresión

$$\frac{8\pi G}{c^4}\left(T_{ij} - \frac{1}{2}Tg_{ij}\right),$$

donde T_{ij} es el tensor de energía y momento introducido por von Laue (1911) en el contexto de la Relatividad Especial y generalizado y adoptado por Einstein para representar la distribución de la materia en la Relatividad General. (En aras de la brevedad, sería conveniente llamarlo el tensor de Laue).

[23] Bachelard comenta este caso ampliamente en VIR, 32 y ss.; pero sin llegar a enunciar la idea de colaboración que expongo arriba.

cirse de la solución exacta debida a Karl Schwarzschild (1916). El anomalía del perihelio de Mercurio se había resuelto, pero solo gracias al empleo conjunto – o, si se quiere, sucesivo – de dos modelos diferentes y conceptualmente incompatibles del fenómeno. La solución de Schwarzschild supone que Mercurio es una partícula de masa desdeñable, cuya presencia y movimiento no afecta en lo más mínimo la perfecta simetría esférica del campo gravitacional generado por la masa del Sol. Este Mercurio idealizado, puesto en un lugar apropiado del campo de un Sol enteramente solitario, exhibirá, según la teoría de Einstein, la precesión hasta entonces inexplicada de 43″ por siglo; pero no exhibirá la precesión de 530″ por siglo que la mecánica celeste newtoniana derivaba de la interacción gravitacional de Mercurio con los demás planetas: en el campo gravitacional de Schwarzschild, fuera de la fuente situada en el eje de simetría, todos los objetos materiales tienen que ser partículas de prueba que, por definición, no interactúan gravitacionalmente entre ellas. Ni Einstein, ni Schwarzschild estaban en condiciones de resolver siquiera aproximadamente las ecuaciones de campo de Einstein para un sistema de 10 cuerpos masivos. Para explicar la precesión secular de 530″ había que recurrir al modelo newtoniano. Los relativistas lo hicieron sin vacilar, porque podían suponer con seguridad que una teoría relativista del sistema solar completo daría predicciones concordantes con las predicciones newtonianas dentro de un margen de error aceptable.

Arriba he descrito la fenomenotecnia como el arte de producir nuevos fenómenos, realizando material y manualmente lo concebido en abstracto *mediante modelos matemáticos* por la inteligencia. Su necesidad e importancia se entiende mejor cuando tenemos en cuenta el rol de los modelos matemáticos en el conocimiento científico moderno. Hay tal distancia entre la simplicidad de las estructuras matemáticas utilizables y la complejidad del acontecer, que no es corriente que un fenómeno no intervenido se deje pensar como la realización de un modelo matemático. La astronomía de Eudoxo a Poincaré pudo hacerlo con márgenes de error decrecientes gracias a que consideraba los fenómenos celestes solo en cuanto movimientos de puntos luminosos; y a la hora de proponer una explicación dinámica para esos movimientos, la pudo basar con éxito en una sola propiedad cuantitativa homogénea, la "cantidad de materia" de cada astro. Pero para ajustar un modelo a un fenómeno terrestre es preciso inmunizar a este contra factores perturbadores y ejercer control sobre las variables relevantes. Como lúcidamente lo expresa Bachelard, en oposición frontal al lugar común de la epistemología decimonónica: "El espíritu científico no consiste en observar el determinismo de los fenómenos, sino en determinar los fenómenos, en tomar las precauciones para que el fenómeno definido de antemano se produzca sin excesivas deformaciones" (NES, 108). Ello requiere efectuar lo que Aristóteles llamó "movimientos forzados" y por tanto – en su vocabulario – *contrarios a la naturaleza*.[24] La simplificación e idealización

[24] Según Aristóteles, cuando una cosa cambia – se altera, crece o disminuye, se desplaza– bajo la acción de un principio externo a ella, ese cambio es un movimiento forzado (βίαιος – *Phys.* 215a2, etc.) y por ende no natural (παρὰ φύσιν – *Phys.* 215a3). De esta manera, *il maestro di color che sanno* excluye *por definición* la posibilidad de una ciencia experimental de la naturaleza; curiosamente, los manuales de filosofía que comentan la filosofía de Aristóteles no suelen destacar esta consecuencia de la misma, tal

requeridas para el ajuste al modelo son eminentemente viables si el fenómeno mismo no acontece de suyo en el medio ambiente, sino que es producido de entrada por la acción humana, como es el caso de la corriente eléctrica generada por una pila voltaica, de la inducción electromagnética en el alternador y el motor eléctricos fabricados por Faraday, de las ondas hertzianas. La propagación de la energía hidroeléctrica en una línea de alta tensión se deja modelar – y entender – más fácilmente que el crecimiento de un bosque nativo. La realización de un modelo por un fenómeno concreto no será nunca exacta,[25] pero si el margen de inexactitud decrece a medida que la intervención del experimentalista o del tecnólogo va eliminando los detalles discrepantes, no se puede negar que ese modelo procura una representación idónea del fenómeno y constituye, por tanto, un conocimiento científico del mismo. (Dicho con más precisión: quien lo niegue desafía a su propia costa el uso ordinario del lenguaje). La historia de la amplificación de luz por emisión estimulada de radiación o *láser*, desde sus difíciles comienzos – recomiendo la narración de Collins (1992, 51-78) – hasta su operación hoy cotidiana en múltiples equipos caseros, fabricados en serie,[26] es un buen ejemplo de confirmación incontrarrestable de la idoneidad de un enfoque teórico (cf. Pocholle 2005).

vez porque su sola mención extinguiría en la mayoría de los estudiantes cualquier interés que pudieran tener en estudiarla.

[25] Bachelard sostuvo que "es una pura imposibilidad dar, incluso al azar, con el conocimiento exacto de una realidad, puesto que una coincidencia entre pensamiento y realidad es un verdadero monstruo epistemológico" (CA, 43). La fuerza retórica de esta aseveración manifiesta la firmeza y radicalidad de sus convicciones sobre el punto mencionado en el texto; aunque, por mi parte, la juzgo exagerada. Me pregunto, en efecto si el número exacto que debo digitar para entrar a la pagina web de mi cuenta bancaria no es *une réalité*, mientras la clave actual esté vigente. Bachelard se desliza aquí atropelladamente de la noción filosófica de "*la* réalité", "cuyo ser reside en su resistencia al conocimiento" (CA, 13), a la noción cotidiana de '*une* réalité', aplicable a cualquiera de los objetos que nuestra acción y nuestro discurso disciernen y destacan en el devenir. Es cierto que tales objetos satisfacen la condición expresada en CA, 14: "los rasgos que nuestra acción traza alrededor de las cosas solo pueden instaurar hitos provisorios y artificiales (*les traits que notre action dessine autour des choses ne peuvent instaurer que des repères provisoires et artificiels*)". Pero son esos objetos, así deslindados, lo que llamamos, en plural, "realidades" (*des réalités*), y algunos de ellos, como la susodicha clave, admiten sin duda un conocimiento exacto. Otro ejemplo que me viene a la cabeza es el número exacto de latas de cerveza de cierta marca encerradas durante cierto intervalo de tiempo en la nevera de mi casa. Adviértase el rol de la acción humana en la constitución de las situaciones objetivas en que se hallan tales ejemplos.

[26] Sobre el valor epistémico de la fabricación en serie hay un texto notable en el primer libro de Bachelard: "Esta realización técnica sólida, estable tiene, por otra parte, un carácter que debe retener al filósofo. La industria moderna no individualiza el objeto que crea. ¡Extraña creación, donde lo general prevalece sobre lo particular! En ciertos respectos, la fabricación en serie es una aplicación de la causa formal aristotélica. Allí es que la forma realmente actúa, organizando una materia. Ella expresa su acto con singular nitidez, con tal economía de rasgos, de medios, de materia, que lo general es visible de entrada, sin que haga falta desglosarlo mediante una progresiva eliminación de los detalles" (CA, 157). No estará demás subrayar que en tales casos supuestamente ejemplares de acción de la "forma", esta se impone a los diferentes materiales en que se realiza mediante la operación "forzada" de agentes externos y no en virtud de un principio interno de movimiento, como en el cambio natural aristotélico.

REFERENCIAS

A. Obras de Bachelard

AR *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Deuxième édition. Paris: Presses Universitaires de France, 1965 [1951].
CA *Essai sur la connaissance approchée*. Paris: Vrin, 1927.
EE *L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine*. Paris: Félix Alcan, 1937.
Ét. *Études*. Présentation de Georges Canguilhem. Seconde édition. Paris: Vrin, 1970.
FES *La formation de l'esprit scientifique: Contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Paris: Vrin, 1999 [1938].
IA *Les intuitions atomistiques (Essai de classification)*. Paris: Boivin & Cie., 1933 [1932].
IED "L'idonéisme ou l'exactitude discursive". En *Études de philosophie des sciences. En hommage à Ferdinand Gonseth*. Neuchâtel: Éditions du Griffon, 1950. pp. 7-10.
II *L'intuition de l'instant*. Paris: Éditions Stock, 1992 [1932].
MR *Le matérialisme rationnel*. Paris: Presses Universitaires de France, 2000 [1953].
NES *Le nouvel esprit scientifique*. Paris: Presses Universitaires de France, 1999 [1934].
NM "Noumène et microphysique". *Recherches philosophiques*. 1: 55-65. (1931-32). (Reproducido en Ét.)
PC *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne*. Seconde édition. Paris: Vrin, 1973 [1932].
PF *La psychanalyse du feu*. Paris: Gallimard, 2009 [1938].
PN *La philosophie du non: Essai d'une philosophie du nouvel esprit scientifique*. Quatrième édition. Paris: Presses Universitaires de France, 1966 [1940].
RA *Le rationalisme appliqué*. Paris: Presses Universitaires de France, 1998 [1949].
VIR *La Valeur inductive de la Relativité*. Paris: Vrin, 1929.

B. Obras de otros autores

Bontemps, Vincent. 2010. *Bachelard*. Paris: Les Belles Lettres.
Cantor, Georg. 1872. "Ueber die Ausdehnung eines Satzes aus der Theorie der trigonometrischen Reihen". *Mathematische Annalen*. **5**: 123–132.
Carnap, Rudolf. 1936/37. "Testability and Meaning". *Philosophy of Science*. 3: 419-471; **4**: 1-40.
Cartan, Élie. 1923. "Sur les variétés à connexion affine et la théorie de la relativité généralisée". *Annales de l'École Normale Supérieure*. 40: 325-412; **41**: 1-25; **42**: 17-88.
Collins, H.M. 1992 [1985]. *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*. With a new afterword. Chicago: University of Chicago Press.
Einstein, Albert. 1915. "Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie". *K. Preussische Akademie der Wissenschaften*. Sitzungsberichte. 1915; pp. 831-839.
Feyerabend, Paul K. 1960. "Das Problem der Existenz theoretischer Entitäten". En E. Töpitsch, *Probleme der Wissenschaftstheorie: Festschrift für Viktor Kraft*. Wien; pp. 35–72.
Friedrichs, K. 1927. "Eine invariante Formulierung des Newtonschen Gravitationsgesetzes und des Grenzüberganges vom Einsteinschen zum Newtonschen Gesetz". *Mathematische Annalen*. 98: 566-575.
Gayon, Jean. 2003. "Bachelard et l'histoire des sciences". En J.-J. Wunenburger, coord., *Bachelard et l'épistémologie française*. Paris: Presses Universitaires de France; pp. 51-113.
Hanson, Norwood Russell. 1958. *Patterns of Discovery*. Cambridge: Cambridge University Press.
Kant, Immanuel (Ak). *Gesammelte Schriften*. Herausgegeben von der Preußischen Akademie der Wissenschaften. Berlin: 1902- .
Kant, Immanuel (KrV). *Critik der reinen Vernunft*. Riga: J. F. Hartknoch, 1781 (A); 1787 (B).
Kragh, Helge. 1989. *An Introduction to the Historiography of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
Lachelier, Jules. 1898. *Du fondement de l'induction*. Paris: Félix Alcan.
Lalande, André. 1951. *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*. Paris: Presses Universitaires de France.
Landau, L. D. y E. M. Lifshitz. 1960. *Course of Theoretical Physics*. Vol. I. Oxford: Pergamon Press.
Laue, Max von. 1911. "Zur Dynamik der Relativitätstheorie". *Annalen der Physik*. 35: 524-542.
Lecourt, Dominique. 1974. *Bachelard ou le jour et la nuit. (Un essai du matérialisme dialectique)*. Paris: Bernard Grasset.

McMullin, Ernan. 1970. "The history and philosophy of science: a taxonomy". En Roger Stuewer, ed., *Historical and Philosophical Perspectives of Science.* Minneapolis: University of Minnesota Press, 1970; pp. 12-67.

Mosterín, Jesús y Roberto Torretti. 2010 [2002]. *Diccionario de lógica y filosofía de la ciencia.* 2ª edición. Madrid: Alianza Editorial.

Peirce, Charles Sanders. 1931-1960. *Collected Papers.* Edited by C. Hartshorne, et al. Cambridge MA: The Belknap Press of Harvard University Press. 8 vols.

Pocholle, Jean-Paul. 2005. "De l'émission stimulée d'Einstein aux lasers aujourd'hui". En M. Leduc y M. Le Bellac, eds., *Einstein aujourd'hui.* Paris: EDP Sciences; pp. 129-201.

Popper, Karl R. 1935. *Logik der Forschung: Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft.* Wien: Springer.

Popper, Karl R. 1959. *The Logic of Scientific Discovery.* New York: Basic Books.

Rheinberger, Hans-Jörg. 2005. "Gaston Bachelard and the notion of 'Phenomenotechnique'". *Perspectives on Science.* 13: 313-328.

Ricci, G. y T. Levi-Civita. 1901. "Méthodes de calcul différentiel absolu et leurs applications". *Mathematische Annalen.* 54: 125-201.

Riemann, Georg Bernhard. 1867. "Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen". *Abhandlungen der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen.* **13**: 133–152.

Schwarzschild, Karl. 1916. "Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinsche Theorie". *K. Preussische Akademie der Wissenschaften. Sitzungsberichte.* 1916, pp. 189–196.

Tiles, Mary. 1984. *Bachelard: Science and Objectivity.* Cambridge: Cambridge University Press.

Torretti, Roberto. 1998. *El Paraíso de Cantor: La tradición conjuntista en la filosofía matemática.* Santiago de Chile: Editorial Universitaria.

Torretti, Roberto. 2007. *De Eudoxo a Newton: Modelos matemáticos en la filosofía natural.* Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales

Will, Clifford M. 1993. *Theory and Experiment in Gravitational Physics.* Revised edition. Cambridge: Cambridge University Press.

ROBERTO TORRETTI es Profesor emérito de filosofía de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras y miembro titular del Institut International de Philosophie.

DIRECCIÓN: Luis Matte Larraín 657, Santiago, Chile. E-mail: roberto.torretti@gmail.com